

최근의 스위칭 전원회로의 기술 개발 동향

김 철 진*

(*한리대 전기공학부 교수)

서 론

각종 전자기기에는 전원이 반드시 필요하나, 집적화되고 소형화된 전자기기 본체와 비교할 때 전원회로 기술은 산업적으로 아직 미성숙 단계이며 스위칭 전원을 대체할 수 있는 새로운 기술이 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

최근에는 환경문제에 대한 대안으로 고효율의 에너지 절약기술(Energy saving)에 관한 관심이 높아지고 있으며, 정보통신 산업의 급속한 발전 또한 스위칭 전원 분야의 기술개발의 견인차 역할을 하고 있다.

스위칭 전원에 관한 문제의 해결 방안으로는 고전적인 회로기술만으로는 해결될 수 없으며, 반도체와 자성재료를 기본으로 배터리(Battery) 등 에너지 축적기술 및 에너지시스템에 관한 보다 광범위한 기술적 접근이 필요하다.

스위칭 전원 분야에서 해결이 필요한 기술적 과제로서는, 효율 향상, 노이즈 특성 개선, 고조파 대책 및 소비전력의 저감 등을 들 수 있다. 여기서 효율 향상의 문제는 영원한 과제라 할 수 있으나 소프트 스위칭(Soft Switching)과 동기 정류 방식을 이용하여 단일 출력으로 90 [%] 이상의 효율을 달성한 제품이 곧 실용화 될 수 있을 것으로 예상된다.

노이즈 특성의 개선도 효율 향상의 문제와 마찬가지로 영원한 과제라 할 수 있으나, 부분공진 또는 전류 공진에 의한 소프트 스위칭 방식이 실용화되어 현저히 개선이 진행되고 있다.

본고에서는 스위칭 전원을 중심으로 한 사회적 배경과 기술의 발전동향과 새로운 기술의 전개에 대하여 기술한다.

1. 전원장치와 사회적 배경

1.1 에너지 변환과 전자회로

스위칭 전원은 반도체 소자의 고주파 스위칭(Switching)

기술에 의해 에너지 변환이 이루어 지는 전형적인 에너지 변환기술로 볼 수 있다. 다음의 그림 1.은 에너지와 전자기술의 상관관계를 나타낸 그림으로, 이 영역은 크게 2 부분으로 나눌수 있다. 우선 에너지 변환을 위한 전자회로 기술은 자원의 절약과 비용의 저감, 환경보전 등 비교적 대전력을 다루는 전력전자(Power Electronics) 기술이 중심이 되며, 또 다른 영역으로는 전자 기술을 위한 에너지 관련 기술로서, 멀티미디어 산업에서 요구되는 에너지원으로 요구되는 고품질의 에너지원, 기기의 소형화 등의 기술 분야를 의미한다.

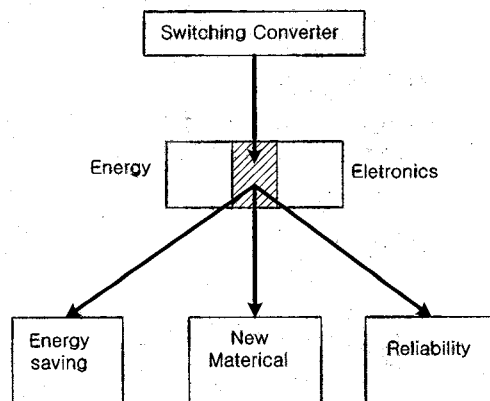


그림 1. 에너지와 전자기술의 상관관계

1.2 환경문제와 규격

열대 우림의 개발과 오존층의 파괴, 지구의 온난화, 해양의 오염, 산성비 등에 의해 우리 주변의 환경은 악화가 가중되고 있다. 이러한 환경파괴를 방지하기 위하여 세계 각국에서는 탄소계 난연제의 폐지, 각종 재료의 리사이클링(Recycling), 전지의 회수 등을 실시하고 있으며, 새로운 규제 대상으로 폐기된 전기제품의 프린트기판(PCB)이 산성

비에 의해 납이 유출되는 것도 문제시되고 있다.

지구 환경문제의 입장에서 탄산가스(CO_2)에 의한 지구 온난화 방지와 산화질소(NO_2)에 의한 대기 오염의 방지 문제는 전 인류가 관심을 갖는 최근의 현안 문제라 할 수 있다. 이러한 문제는 효율향상에 의한 에너지 절감 기술과 깊은 관계를 갖는다고 할 수 있으며, 스위칭 컨버터의 고 효율화와 소형화의 기본이 되고 있다.

한편, 환경문제와 직결된 스위칭 전원의 문제로는 전력용 반도체의 스위칭 동작에서 기인하는 노이즈에 의한 환경 오염 문제를 들 수 있다.

다음의 그림 2는 스위칭 전원 장치의 설계, 시험, 생산의 각 단계에서 노이즈 대책과 적용 가능한 회로 기술에 대한 경제적 측면을 나타내고 있다.

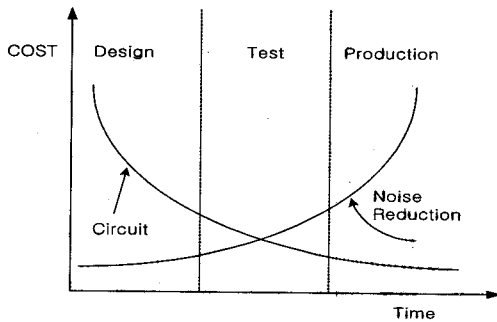


그림 2. 노이즈 대책 기술과 소요비용

여기서 제품을 생산하는 경우 초기단계에서 노이즈에 대한 대책을 실시하면 적은 비용으로 다양한 형태의 기술이 적용 가능한 것을 알 수 있으며, 초기 단계에서 대책을 실시하기 위해서는 노이즈의 발생원인을 사전에 충분히 파악할 필요가 있다.

스위칭 동작에서 기인하는 노이즈는 전도성 노이즈(Conducted Noise)와 전파성 노이즈(Radiated Noise)로 나눌 수 있고, 회로 기술에 의한 노이즈 대책이 가능한 것은 전도성 노이즈로 30 [MHz] 이상의 주파수 대역이 대상이 된다. 여기서, 충분한 재현성이 기대되는 것은 10 [MHz] 이하의 노이즈로 발생과정에 따라서는 컨버터의 고주파 동작 회로를 이용한 서지(Surge)의 해석을 통해서 이론적으로 구할 수 있다. 스위칭 서지의 원인은 배선과 트랜스포머의 누설(Leakage)에서 기인하는 인덕턴스 성분, 콘덴서의 등가 직렬인덕턴스(ESL), 다이오드를 비롯한 반도체의 공핍층의 용량성분 및 PN 접합부에 축적된 전하의 회복특성 등을 들 수 있다.

스위칭 전원에 적용되는 규격에는 안전규격, 노이즈규격 및 고조파 규격 등이 있다.

각종 전기 전자 제품에 대하여 해외 각국에서는 독자적인 안전규격을 제정하여 감전이나 화재, 화상 등의 위험 요소로부터 사용자를 보호하고 있다.

다음의 표 1에 대표적인 안전규격을 제시한다. 여기서, 각종의 안전 규격에는 제품의 분야에 따라서 규격이 세분

표 1. 각국의 안전규격

U.S.A	UL	Norway	NEMKO
Japan	JIS	Denmark	DEMKO
Canada	CSA	Sweden	SEMKO
Germany	VDE	Swiss	SEV
England	BS	Australia	SAA

화되어 있으며, 각 규격에서는 전원부에 대해서 자세한 규정이 명시 되어있다.

안전규격은 국제적으로는 IEC 950 이 가장 광범위하게 적용되는 규격이며, 미국의 경우 IEC 950 에 준한 UL1950 규격을 적용하고 있으며, 일본의 경우 제조자의 책임을 규정한 PL (Product Liability) 법을 적용하고 있다.

노이즈에 대한 규격으로는 국제 무선장해 특별위원회(CISPR)에서 정한 기준(Pub.22)이 널리 사용되고 있으며, 고조파에 관한 규정은 IEC에서 정한 IEC 1000-3-2 와 1000-3-3 의 기준을 국제적으로 표준이 되고있다.

안전규격은 기업의 기술적 전략에 따라 한층 강화된 안전성을 확보해 나가는 경향에 있으며, 통상의 전원의 경우 사용부품의 단락 및 개방시험과 화재에 대해 충분히 안전성을 확보하도록 하고 특히 트랜스포머 또는 컨버터 부분을 몰드(Mould)하여 보다 안전성을 강화하는 경향을 나타내고 있다.

한편, 비디오 카메라 등의 경우는 상품의 성격상 신체에 직접 접촉하여 사용하기 때문에 누설전류를 100 [μA] 이하로 규제하고 있으며, 금탕기 등에서는 프린트 기판을 우레탄으로 코팅하여 수분이 침투하는 것을 방지하는 등 보다 엄격한 규정을 적용하고 있다.

이상의 내용은 안전성에 대한 사용자의 입장에서 서술하였으나, 향후 네트워크 등에 연결되어 상시 연속적으로 사용되는 제품 또는 옥외에서 사용되는 경우는 보다 안전성에 대한 요구가 엄격하게 적용될 것으로 예상된다.

내 노이즈 특성으로는 전원장치 자체가 발생하는 노이즈의 정도를 의미하는 EMI (Electromagnetic Interference) 와 구분하여 스위칭 전원 장치가 외부로부터 입력되는 노이즈에 대하여 영향을 받아 회로의 파손과 오동작이 발생하지 않도록 하는 EMS (Electromagnetic Susceptibility)를 지표로 판단하고 있다. EMI 와 EMS 를 포함한 개념으로 EMC (Electromagnetic Compatibility)를 사용하며 EMS 에 관해서는 아직 국내에서는 규정되어 있지 않으나 수출제품에 대해서는 국제규격에 대한 대책이 있어야 한다.

또한, 스위칭 전원장치는 콘덴서 입력형을 사용하기 때문에 입력전류의 피크치가 크게된다. 즉, 같은 전력을 송전하는 경우 2 배정도의 전류를 필요로 하므로 이를 해결하기 위한 방안으로 고조파규제에 관한 법률이 시행되고 있다.

고조파에 대한 대책은 주로 75 [W] 이상의 전력을 소비하는 기기에 대해서 대책이 강구되고 있으며, 최근에는 교류를 정류한 후 입력단에 전해 콘덴서를 사용하지 않는 방

식의 컨버터 (C-less Converter) 에 관한 연구가 이루어지고 있다.

2. 기술의 발전동향

2.1 소형화

트랜스포머, 리액터(Reactor) 등의 자기 소자와 평활용 콘덴서 등은 스위칭 전원의 크기를 결정하는 중요한 요소라 할 수 있다. 여기서 트랜스포머, 리액터 등의 자기 소자에서 자성체의 단면적과 권수는 스위칭 주파수에 반비례하기 때문에 스위칭 주파수를 높게 함에 따라 원리적으로 소형화가 가능하다.

평활용 리액터의 경우는 리플 전류의 진폭이 인덕턴스와 주파수의 곱에 비례하기 때문에 고주파에 의한 인덕턴스의 감소가 가능하나, 출력에 따라서 편여자 현상이 증가하게 된다.

출력전압의 리플 율은 평활용 콘덴서의 용량과 주파수의 곱에 반비례하므로 고주파화에 따른 콘덴서 용량의 감소가 가능하나, 콘덴서 용량을 감소하면 안정성이 나빠지기 때문에 용량을 지나치게 적게는 할 수가 없다.

승압형(Boost) 또는 승강압형(Buck-Boost) 방식의 경우 직류 부하전류와 동등 이상의 리플전류가 콘덴서로 유입되므로 고주파화 만으로 콘덴서의 크기를 대폭적으로 줄일 수가 없으며, 회로의 스위칭 주파수를 증가함에 따라 트랜스포머 뿐만 아니라 컨버터를 구성하는 각종 소자의 손실이 증가하게 된다.

이러한 손실 가운데 자성체에서의 손실, 스위칭 손실, 저항손실 등은 전류와 자속밀도의 함수 관계에 있기 때문에 전류와 자속 분포를 가능한 한 동일하게 하는 것이 손실을 저감하는 방법이 된다.

언급한 문제에 대한 회로적인 대책으로 제안된 공진형과 소프트 스위칭 방식의 회로에서는 스위칭 서지의 억제와 손실의 저감에 유리하여 고주파화에 필요한 기술이라 할 수 있으나, 고주파화가 진행됨에 따라서 자기 소자의 손실 또한 무시할 수 없을 정도로 커지게 되는 것에 유의해야 한다.

한편, IC 의 경우는 저전압을 지향하여 개발이 진행되고 있기 때문에 IC 를 채용한 전자기기에서는 저 전압 대 전류의 수요가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

이러한 형태의 전원에서는 다이오드의 순방향 전압 강하에 의한 손실이 전체 손실중 가장 큰 부분을 차지하게 되므로, 손실을 저감하기 위해서는 FET 소자를 사용한 동기 정류 방식을 고려할 수 있으나, FET 를 이용하는 경우 내장된 다이오드의 회복특성과 부유용량 (Stray Capacitance) 및 트랜스포머의 누설 인덕턴스의 영향 때문에 스위칭 주파수에는 한계가 존재한다. 현재에는 동기정류 방식에 의해 약 300 [KHz] 로 90[%] 의 효율을 실현할 수 있는 정도의 기술 수준에 있다.

다음의 그림 3.은 MOSFET를 이용한 반파동기 정류 회로의 예를 나타낸 그림이다. 그림에서 보조권선 N_3 는 N_2 의

전압 파형과 동위상이며, 게이트(G)가 순방향으로 바이어스될 때 N_2 의 (+) 반파의 기전력을 부하에 공급하는 작용으로 정류가 이루어진다.

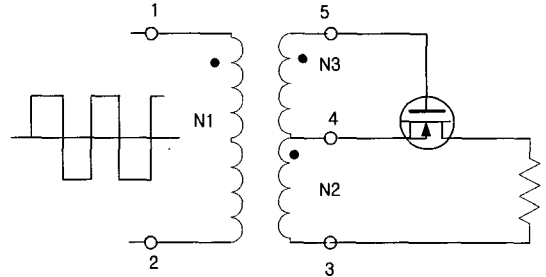


그림 3. MOSFET를 이용한 반파동기 정류 회로

소형화를 이루기 위한 기술적 요소를 요약하면, (1) FET와 제어회로가 일체화 된 전용의 IC에 의한 회로의 간략화, (2) 트랜스포머의 최적 설계, (3) 노이즈 대응 부품의 소형화를 들 수 있다.

2.2 에너지 절감

전원 장치의 경우는 고 효율 특성이 중요하다. FAX, 컴퓨터 통신, 보안시스템 등의 경우에는 24 시간 연속 동작 기능이 요구되며 특히 대기시의 효율이 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 다음의 그림 4 는 통상 전원 장치와 연속 동작이 이루어지는 기기와의 효율을 비교하기 위한 데이터이다.

그림으로부터 저 전력의 조건에서는 일반용 전원과 FAX와 같이 연속동작 조건에서 사용되는 전원장치의 효율은 대기시의 저전력에서 현저한 차이가 존재하는 것을 알 수 있다.

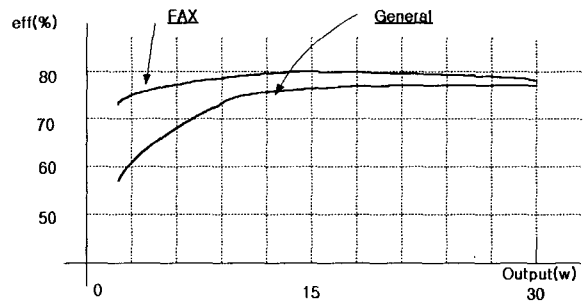


그림 4. 전원기기의 효율비교

이러한 배경에 따라 최근에는 바이폴라(Bipolar) 형 제어 IC를 대신한 저 소비전력의 CMOS 형 IC 가 사용되고 있는 경향을 나타내고 있으며, 최근 하절기에 발생하는 전력부족의 문제 즉 전력 예비율을 고려한 저 소비전력의 대표적 제품으로 고주파 인버터(Inverter)를 채용한 에어컨이 출시되고 있다.

인버터를 적용한 에어컨의 경우는 실외기의 효율 향상과 아울러 실내기에도 열교환기의 열을 효율있게 실내에 공급하기 위해서는 열교환기를 개량하고, 또한 송풍용 팬으로 DC Motor 를 사용하여 DC Motor 의 공급전압을 가변하여 풍량을 제어함으로써 효율향상을 기하고 있다.

2.3 고조파 왜곡 대책

일반 가정용을 포함한 수 백 [W] 이하의 불특정 다수의 소형 전자기기는 대부분 소형, 경량화를 기하기 위해 콘덴서 입력형의 정류 회로를 가지므로, 배전계통에서 고조파 전류왜곡의 중요한 발생원인이 된다.

고조파 전류왜곡은 상용 전원 주파수를 기본 주파수로 하여 주로 기수(Odd Number)파 성분이 문제가 되며 이러한 고조파도 노이즈의 일종으로 간주할 수 있으나 주파수 성분이 거의 1 [KHz] 정도 이하로서 예측 가능한 신호(Deterministic Signal) 로 취급하는 것이 일반적이다.

일반 가전기기에서 발생하는 고조파 전류 성분은 배전선에서 가산되어 콘덴서와 리액터의 소손 사고의 원인이 되는 것으로 보고된 바 있으며, 소형전자 기기가 발생하는 왜형파 전류의 허용 한계치에 대해서는 IEC1000-3-2 의 Class D 의 규격으로 제한하고 있다. 이와같은 규제는 1996년 1월1일 이후부터 Europe에서 시행되고 있으며, 일본의 경우에도 일본전자공업 진흥협회 (JEIDA) 에 의해 자율 규제가 이루어지고 있다.

피크 전류는 전압과고치 부근의 짧은 기간만 도통하기 때문에 발생하는 것으로 역률 개선회로(PFC)를 사용하여 보다 넓은 시간범위에서 정류기를 도통시켜 피크치를 저감할 수 있는 새로운 기능을 스위칭 전원에 부가하는 방안이 이러한 문제에 대한 대책으로 유용하게 활용될 수 있다.

그러나 스위칭 전원장치에는 전압 안정화 기능 외에 역률 개선회로를 부가하는 경우 제품의 원가를 상승시키는 요인으로 작용할 수 있으므로 사용 부품 수를 최소화한 역률 개선회로의 설계가 중요한 과제로 부상하고 있다.

최근에는 단일 컨버터로 역률조정과 전압 조정을 동시에 행하는 방식이 실용화 단계에 있으며, 다음의 그림5. 는 역률 개선회로의 원리를 설명한 그림이다.

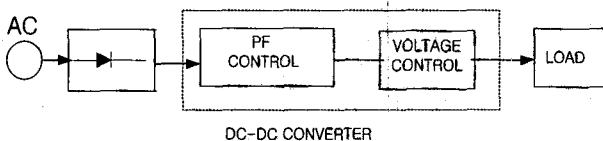


그림 5. 역률 개선회로의 원리.

그림 5에서, 리액터 전류의 불연속 모드의 이용이 가장 간단한 방법이라 할수 있으며, 입력 전류는 정현파이며 통상의 연속모드에서 필요한 피드포워드 (Feed-forward) 제어 방식은 불필요하나, 입력전류에 고주파 리플이 증가하므로 노이즈에 대한 대책이 필요하다.

이러한 개념의 확장으로 전류공진을 이용하여 스위칭 손실과 동시에 노이즈 대책을 행하는 것이 가능하나, 이 방식에서 역률 개선을 효과적으로 행하기 위해서는 출력전압에서 상용 정류전압의 리플성분이 충분히 감쇄되는 것을 전제로 하기 때문에 평활용 콘덴서가 과대하게 되는 것이 결점이라 할 수 있다.

2개의 컨버터를 이용하여, 역률조정과 전압조정을 별개의 컨버터로 독립하여 행하는 방식은 사용 부품의 수가 증가하나 상용전원의 고조파 리플성분은 전원전압 변동에 대해 안정화되기 때문에 출력용 콘덴서의 용량을 적게 할 수 있는 장점을 갖는다. 2단 종속 접속방식은 이러한 방식의 전형적인 예라 할 수 있다.

2단 종속 접속방식에서, 초단은 승압형 또는 승강압형 컨버터에 의해 역률 조정을 행하는 컨버터이며, 다음 단은 전압조정용으로 사용되므로, 첫 번째 단을 공통으로 하고 다음단을 복수개로하는 등의 다양한 사용법이 가능하다. 그러나, 이러한 종속접속 방식의 효율은 각 컨버터의 곱으로 되어 효율이 저하되고 사용부품의 접수가 늘어나는 단점을 갖는다.

상용정류 회로에 쇼크(Choke) 입력을 이용하는 경우는 리액터가 커지기 때문에 일반적으로 50 [W] 이하의 소 용량에 적합하며, 콘덴서의 입력단에 직렬 임피던스를 삽입하여 정류기의 도통각을 넓게 하는 것이 기본원리이다.

역률 개선에 대한 대책으로 현재 실용화되고 있는 자기적인 스위칭 방식과 철심 결합의 전류 공진형 방식 등은 검토되어야 할 흥미 있는 연구과제라 할 수 있다.

3. 신기술의 개발

3.1 재료의 개발

전력기기의 소형화를 기하기 위해서는 반도체 및 자성재료에 대한 특성 개선이 필요하다.

반도체 스위치 소자에서는 스위치의 고속화와 온(ON) 시의 저항의 감소를 동시에 실현하는 것과 신호처리 기능을 내장한 형태의 인텔리전트(Intelligent) 화가 중요한 과제라 할수 있다. 현재 인텔리전트화는 주로 모터 제어분야에서 실용화가 진행되고 있으나, 향후에는 스위칭 전원분야의 경우에도 개발과 응용을 기대할 수 있다. 또한, 장래의 고속의 저손실 소자로서 실리콘의 뒤를 이은 탄화규소(SiC)의 이용에도 주목할 필요가 있다.

스위칭 소자와 병행하여 전력용 다이오드의 개발도 중요한 과제로서, 다이오드는 IC 용의 저전압 대전류 전원의 경우 손실의 주된 원인이 되고 있으며 소형화의 장애 요소라 할 수 있다. 이러한 문제로 인해 동기 정류방식의 경우는 주파수에 대한 상한이 존재하게 되며, 구성 부품수의 증가 또한 불가피하다고 할 수 있다. 따라서, 순방향 전압강하가 작고 어느 정도의 우수한 내압 특성과 서지전압의 발생원인이 되는 축적 전하가 미소한 새로운 다이오드의 개발이 강력하게 요구되고 있다.

한편, 고주파용 자성재료의 개발은 기기의 소형화에 필수적이며, 페라이트, 아몰퍼스(Amorphous) 등 자성 재료의 특성개선은 무엇보다 중요한 문제이며, 페라이트를 기본으로 한 박막코일에 의한 박형 트랜스포머 및 리액터의 개발은 스위칭 전원의 모듈화에 필요한 기술이라 할 수 있다.

자성재료의 경우 수10 [KHz] 이상의 고주파 회로에서는 주로 페라이트가 이용되고 있으나, 페라이트는 소결 재료이기 때문에 대용량화에는 제작상의 문제가 존재하며, 또한 진동 등 기계적 스트레스가 큰 응용 분야에서는 크랙(Crack)이 발생하는 등의 위험이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 아몰퍼스를 사용한 고주파 트랜스포머의 개발이 기대된다.

재료적인 측면외에 트랜스포머에 존재하는 누설자속이 고주파화의 장애 요소가 된다. 누설자속은 노이즈의 형태로 직접적인 피해를 가할 뿐만 아니라 누설 인덕턴스에 의한 전압강하 때문에 대출력의 경우에는 충분한 출력전압을 얻을 수 없고 근접효과에 의해 코일의 발열이 발생하는 원인이 되므로 낮은 투자율(μ)의 공극이 없는(Gapless) 리액터의 개발이 중요한 과제가 된다.

교류전원을 안정화시키기 위한 초기의 방안으로 철공진형 회로가 있다. 다음의 그림 6은 철공진형 정전압 회로의 원리를 나타낸 그림으로 L_1 은 전류에 대한 인덕턴스의 변화가 적은 재료를 사용하고 L_2 는 변화가 큰 특징을 갖는다. C_1-L_2 는 병렬 공진회로를 구성하며 공진조건이 성립되면 큰 임피던스를 나타내게 되고, L_1 은 인덕턴스가 일정하므로, L_1 과 C_1-L_2 의 공진회로에 의한 전압의 분배가 이루어져 일정한 출력을 나타내게 된다.

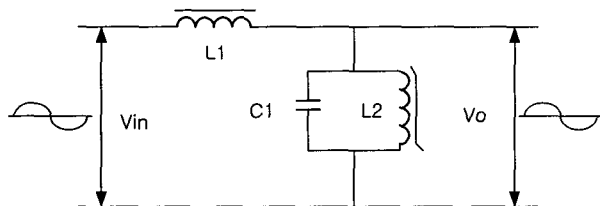


그림 6. 철 공진형 정전압 회로의 원리.

자기증폭기(Magnetic Amplifier)로 대표되는 각종 자기특성을 갖는 자기소자의 고주파 회로에서의 이용은 노이즈 대책 인덕턴스 전류(Commutation)의 이용 등은 기능화의 측면에서 매우 중요한 연구주제라 할 수 있다.

철심에서의 큰 진폭의 동작은 철손을 증가하기 때문에 고주파에서 저 손실을 갖는 자성체의 개발이 필요하게 된다. 따라서 와전류 손실과 히스테리시스 손실 모두를 감소하기 위한 대책 기술의 개발이 필요하며, 이 두 종류의 손실 저감은 재료면에 대한 상호 보완적인 (Trade-off) 관계를 갖는다. 이 문제에 대하여 아몰퍼스 자성체의 박대(Thin Band)는 박형화에 대한 보자력의 증가가 비교적 적고 고주파 손실의 저감에도 적합하다고 할 수 있다.

일반적인 철심은 여자 주파수가 현저하게 높게되면 자속

의 포피효과에 따른 자기적인 특성이 공심(Air Coil)에 가깝게 되어 밀결합이 곤란하고, 가포화 철심에 대한 포화와 불포화의 차이가 미소하여 포화소자로서의 기능이 저하되므로, 철심을 기능소자로 사용하는 경우 주파수에 상한이 존재하게 된다.

3.2 대체 에너지

환경문제 중에서 탄산가스에 의한 지구의 온난화 대책은 최근 가장 심각한 문제라 할 수 있다. 탄산가스의 발생을 억제하는 직접적인 방법으로는 태양광발전, 풍력발전, 연료전지 등의 새로운 개념의 에너지의 사용을 제안할 수 있다. 특히 태양전지는 청정하며 무한한 양의 태양 에너지를 이용할 수 있어 장래의 범용 에너지원으로서 주목받고 있다. 그러나 이러한 새로운 형태의 에너지원이 종래의 발전방식을 대신하여 실용화되기 위해서는 우선 발전비용이 문제가 된다.

다음의 표 2는 여러 가지의 발전방식에 대한 [KW] 당의 발전설비의 건설비용을 비교 한 것이며, 그림 7은 발전용량을 독립변수로 나타낸 결과이다.

표 2. 발전설비의 건설비용

종류	원가 [\$1,000/KW]	용량 [KW]
화력	석유	6×10^5
	LNG	6×10^5
	석탄	6×10^5
Diesel	2.5	5×10^3
원자력	2.6	11×10^5
수력	5.0	$1 \sim 4 \times 10^4$
연료전지	7.5	5×10^3
태양광	16.7	5×10^1

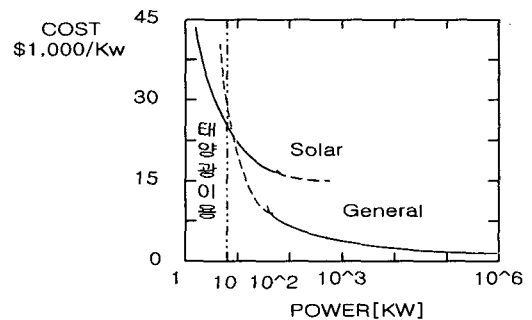


그림 7. 발전용량과 건설비용

발전비용에 관해서는 가동율, 원료비, 운전비용 및 송배전 비용 등을 고려할 필요가 있으므로, 단적으로 표현하기는 곤란하나, 그림 7로부터 약 10 [KW] 를 기준으로 하여 소용량의 경우는 태양광 발전 방식이 어느정도 경제성을 갖는다고 볼 수 있다.

한편, 캘리포니아 주에서는 1988년부터 판매되는 자동차의 2 [%] 를 전기 자동차로 제한하는 규제가 시행되어 최근 각국에서는 전기 자동차에 탑재한 전지와 충전 장치의 개발에 주력하고 있다.

이와 같이 새로운 상품의 출현과 함께 환경문제에 관한 새로운 규제가 실시되는 경향을 나타내고 있으므로 대체 에너지의 개발은 매우 중요한 연구과제라 할 수 있다.

3.3 축전지와 전기 이중층 콘덴서

최근, 축전지의 개발은 에너지와 전자기술이 상호 관련된 중요한 기술 분야로 부상하고 있다. 축전지는 손쉽게 에너지를 축적할 수 있는 특유의 기능을 가지고 있으며, 전자기술의 발전과 더불어 그 중요성이 점차 높아지고 있다. 향후 멀티미디어 분야의 기술적 확대와 함께 전원의 백업(Back-up) 용도로 축전지의 사용은 불가피하다고 할 수 있다. 축전지의 고밀도화 기술에 의한 소형화는 휴대용 기기의 전원과 같이 소용량의 경우뿐만 아니라, 대형 계산기나 통신기용 전원, 전기자동차용 전원, UPS 등 대용량 전자기기의 전원의 경우에도 필수적으로 해결해 나가야 할 중요한 과제라 할 수 있다.

현재 사용되고 있는 니켈 카드뮴(Ni-Cd) 전지의 에너지 밀도는 약 150 [Wh/l] 정도이나, 2,000 년 경에는 350 [Wh/l] 정도의 용량의 개발을 기대할 수 있다.

축전지는 축적된 전하를 소비하는 형태로 동작하기 때문에 일종의 재생 가능한 형태로 부품이 마모되는 것으로 간주할 수 있으므로, 전지는 수명이 짧은 마모성 전자부품이라 할 수 있다.

축전지는 이용 기술 또한 충분히 확립이 되어 있지 않으며, 전기화학 작용에 의한 본래의 수명을 고려한 예정 수명과 잔존 용량의 검출, 보존성, 안정성 및 충전 방식의 확립 등에 관한 문제의 해결이 향후의 과제라고 할 수 있다.

그러나 축전지는 향후의 에너지와 전자기술의 중심과제의 하나로 중요한 부분을 차지하며, 일반전자 부품과 마찬가지로 소형으로 저가격이며 사용이 쉽고, 장시간 사용이 가능한 고품질의 제품 개발이 지속적으로 이루어져야 할 중요한 과제이다.

이에 반해 활성탄과 전해질을 이용한 전기이중층 콘덴서(ECS)는 전지와 콘덴서의 역할을 동시에 담당할 수 있는 소자라 할 수 있다.

다음의 그림 8은 전기 2중층 콘덴서의 기본 원리를 나타낸 그림이다.

ECS는 수천 [F] 정도의 용량을 갖고 급속 충전이 가능하며, 장수명으로 잔존용량의 검출이 가능한 장점을 갖고 있을 뿐만 아니라 향후에는 축전지의 결점을 보완할 수 있는 우수한 전자부품으로 각광 받을 것이 예상된다. 그러나 에너지 밀도는 현재에는 수 [Wh/l] 정도로 낮으며, 실험실 단계에서 40 [Wh/l] 정도의 개발이 진행중에 있다.

향후 에너지 밀도의 향상을 기하고 경제적이며 내압특성이 우수하며 대용량의 전하를 축적하는 특성을 실현한다면

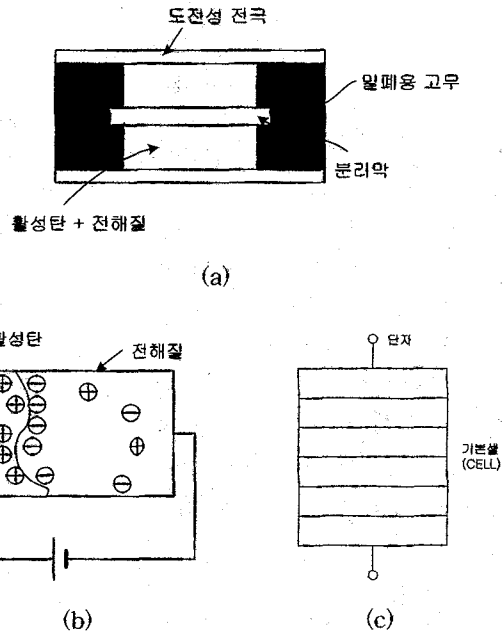


그림 8. 전기 2중층 콘덴서의 기본 구조
(a) 기본 셀(Cell) (b) 셀의 구성 (c) 기본셀의 적층구조

전기 이중층 콘덴서가 축전지를 대신할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

4. 기능의 다양화

4.1 회로 기술의 발전

전원 장치에 대한 세트(Set)의 경우, 부품의 변화에 대응한 출력 전압의 변화, 특히 로직(Logic)용 전원의 저전압화 현상이 두드러지게 이루어지고 있다. CPU를 비롯한 IC의 경우, 집적도를 높이기 위해 패턴은 0.5~0.35 [μm] 정도로 발전되고, 인가되는 전원 전압도 5 [V]에서 3 [V] 또는 2 [V] 정도로 저전압화 진행되고 있다. 전원 회로는 일반적으로 전압이 낮아짐에 따라 2 차측 정류 다이오드의 전압강하와 효율 저하가 문제가 되므로 저전압 출력에 대해 효율을 향상하기 위한 대책이 강구되어야 한다.

최근 에너지 절감의 입장에서 전자 기기가 입력을 받아 들이지 않고 대기(Stand-by) 상태일 때의 전력의 저감이 중요하게 다루어지고 있다. 이는 경부하 시에 전원의 고효율화를 의미하고 이를 위해 향후에는 제어회로의 저전력화와 회로 내의 손실저항(Dummy Load)에서 발생하는 손실의 제거, 트랜스포머용 철심의 저손실화 등 출력이 불필요한 경우의 손실 저감에 관한 대책 기술이 중요하게 다루어지고 있다.

또한 새로운 표시장치(Display)로서 플라즈마(Plasma) 디스플레이가 주목받고 있으며, 기동에 약 200 [V] 정도의 전압이 필요하다. 이러한 예와 같이 새로운 상품의 출현에 따른 새로운 전원이 필요하게 된다.

손실과 스위칭 주파수 외에 스위칭 전원의 크기와 비용을 결정하는 요소로 구성부품의 수가 중요하다. 특히 공진형 방식이나, 소프트 스위칭을 이용한 저 손실 방식에서는 구성 부품수의 증가는 저 비용화에 대한 큰 장애 요소가 된다. 구성 부품의 수를 줄이기 위해서는 부품의 모듈(Module) 화를 진행하거나 회로에 존재하는 누설 자속등의 파라미터를 적극적으로 이용하는 것이 중요하다.

다음의 그림 9는 통상의 PWM 제어 방식과 소프트 스위칭 방식의 스위칭 시의 i_c 와 v_{CE} 의 파형을 나타낸 그림으로, 소프트 스위칭 방식의 경우 영전류 상태에서 스위칭이 이루어지므로 스위칭 손실이 근본적으로 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

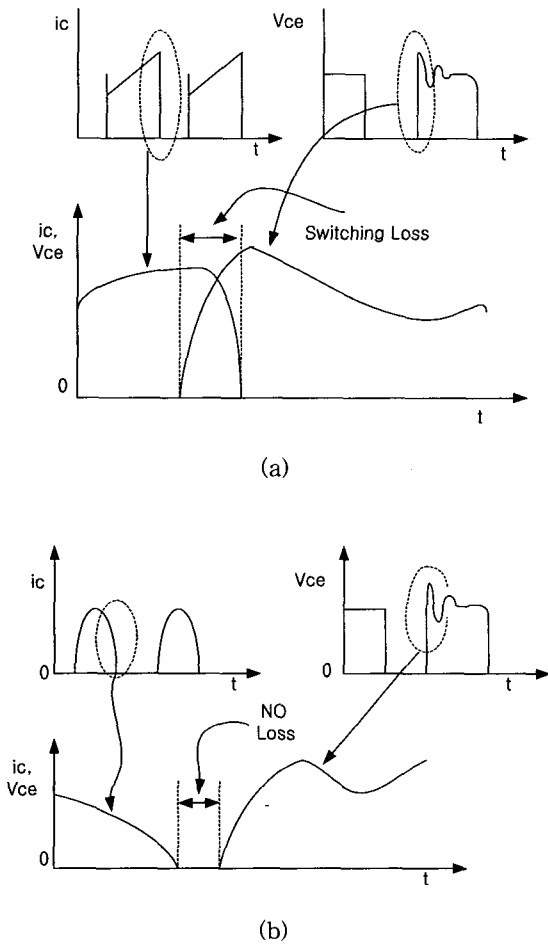


그림 9. 스위칭 방식에 따른 손실
(a) 일반적인 PWM 방식 (b) 소프트 스위칭 방식

그림 9에서 i_c 와 v_{CE} 는 시간 t 의 함수로 표현할 수 있으므로, $i_c = f(t)$ 및 $v_{CE} = g(t)$ 의 관계로부터 i_c 를, $i_c = f\{g^{-1}(v_{CE})\}$ 로 표현할 수 있다.

따라서 이러한 관계 ($i_c - v_{CE}$) 를 나타내면, 그림 10 과 같은 스위칭 궤적을 그릴수 있다.

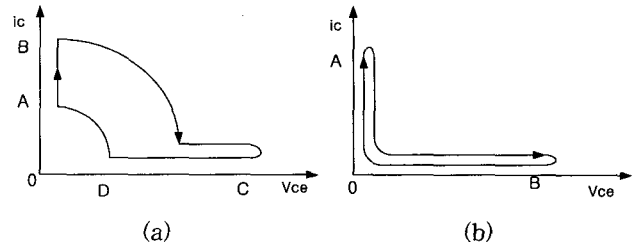


그림 10. 스위칭 동작의 궤적
(a) 일반적인 PWM 방식 (b) 소프트 스위칭 방식

이 경우 공진형과 인덕턴스 전류형 컨버터에서는 누설 인덕턴스를 이용할 수 있으나, 누설 인덕턴스는 오차가 크고 회로에서 공진 조건을 만족시키기 때문에 기계적으로 제어하는 방법을 확립하거나 오차를 허용할 수 있는 회로 방식의 개발이 필요하다. 이러한 관점에서 공진 조건을 필요로 하지 않는 인덕턴스 전류의 이용이 생산의 측면에서 상당히 유리하다고 할 수 있다.

4.2 휴대성과 정보화

최근 휴대기기 산업 분야는 눈부신 발전이 진행되어 왔다. 휴대용으로 사용되는 기기로는 휴대전화, PHS, 노트북 컴퓨터, 비디오카메라, 카세트라디오(Headphone Stereo) 등 많은 응용이 이루어지고 있다.

휴대 기기는 개인용 기기로서, 초기에는 달리는 차 속에서 음악을 듣거나 여행의 추억을 기록으로 남기거나, 비즈니스의 목적으로 출장지 등에서 각종 데이터를 얻기 위한 통신의 목적으로 개발되었다. 특히 휴대전화는 이와같은 목적으로 사용되며, 최근 단말기 및 가입요금의 인하와 통화료의 인하 등의 판매 전략에 따라 수요증가가 폭발적으로 이루어 지고 있으며 소형의 고품위 충전장치가 요구되고 있다.

휴대기기의 소형화에는 반도체의 진보와 함께 리튬 이온(Li-Ion) 전지로 알려진 새로운 2차 전지의 출현이 중요한 근간을 이루고 있다. 리튬이온 2차 전지는 소형화와 함께 중량대비 우수한 특성을 나타내며, 휴대용 기기에 최적이라 할 수 있다. 아래의 표에 리튬이온 2차 전지와 기타의 전지에 대한 성능을 비교한다.

표 3. 각종 2 차 전지의 성능 비교

특성항목	Li-Ion	Ni-Cd	Ni-H
체적에너지 밀도	230~280 Wh/l	60~150 Wh/l	150~230 Wh/l
중량에너지 밀도	90~110 Wh/Kg	30~60 Wh/Kg	40~70 Wh/Kg
평균동작전압	3.7 [V]	1.2 [V]	1.2 [V]
최대방전전류	보통	매우 우수	우수
자기방전특성	매우 우수	보통	보통
사이클라이프	매우 우수	우수	우수
메모리효과	매우 우수	보통	보통
환경경향	매우 우수	보통	우수

최근의 스위칭 전원회로의 기술 개발 동향

언급한 바와 같이 2차 전지의 발전에 따라 옥외에서 사용하는 휴대 기기를 쾌적한 조건으로 사용할 수 있게 되었으며, 소형화의 가치는 사용 방법에 의해 크게 달라지게 된다. 예를 들면 최근 노트북 컴퓨터에서 AC코드만 가지고 있으면 사용할 수 있는 전원 내장방식(AC Adapter-less)의 제품이 출시될 수 있는 것은 전원의 소형화 기술에 의해 가능한 것이다. 컴퓨터의 경우에도 전원을 투입하기 위해서는 컴퓨터 세트뿐만 아니라 전원 측에도 고도의 기술이 요구된다.

최근에는 인터넷(Internet) 기술의 발전에 따라 컴퓨터의 수요 또한 급격히 증가되는 추세를 나타내고 있다. 컴퓨터의 사용 증가에 따라 의료기관의 경우에는 네트워크를 이용하여 가정에서 진료를 실시하는 방안이 검토되고 있으며, Video-on-Demand (VOD), VICS 등 새로운 네트워크 방안이 출현하고 있다. 향후 네트워크의 발전에 따라 전원기술 또한 연속적인 사용환경에서 대기시의 전원 효율 제고와 기기의 고 수명 설계 등이 요구되고 있다.

4.3 다기능화

최근 컴퓨터를 이용하는 근무 환경이 확대됨에 따라 정전 시에도 각종 데이터를 보호하기 위한 UPS (Uninterruptible Power Supply)의 사용이 증가하고 있으며, AC 전원의 순시 정전과 입력 전원의 비정상 상태에 대응하는 등 종래에 UPS가 갖는 기능의 일부를 전원 장치에 포함하는 기술적 경향이 나타나고 있다.

소비전력의 저감에 대한 대책의 경우, 컴퓨터를 ON 상태에서 일정시간 동안 키보드의 입력이 없을 때 전원의 출력의 일부를 차단하여 소비전력을 최소로 하는 출력절감(Power Down) 기능과 리모컨 기능을 갖는 전기전자 제품의 기술 개발의 진행을 기대할 수 있다.

또한 DC 출력 전압에 관한 요구 사양에도 변화가 이루어지고 있으며, 제품의 사용환경에 따라 최적의 전압을 전원장치에서 출력하는 최적화 설계가 기대된다. 예를 들면, DC Motor의 회전수를 변화시키는 것이나, CPU의 소비전류를 억제하는 것 등의 효과를 나타낼 수 있다. 현재에도 배터리 충전기, 램프용 Ballast 및 복사기용 고압 전원 등의 경우에는 이러한 측면을 고려하여 향후 한층 다양한 형태의 기능이 요구될 것으로 예상된다.

신뢰성 향상의 측면에서도 주위 온도, 내노이즈 특성 등 그 제품의 사용환경을 고려한 여러가지 요구 사양이 존재할 수 있으며, 소비자의 욕구 증가에 따른 제품의 종류도 언급한 기술적 배경을 바탕으로 다양한 형태로 개발이 진행되고 있을 뿐만 아니라, 생산자의 관점에서 제품의 개발비와 금형비에 대한 부담을 경감할 수 있도록 표준화가 이루어지는 경우, 아웃소싱(Out-sourcing)에 의해 기성품을 사용하기가 용이하기 때문에 개발 기간을 단축할 수 있다.

제품의 신뢰성에 관한 요구로서, 무선 전화기의 경우는 접촉불량이 발생하는 단점을 해결하기 위해, 다음의 그림 11.에 제시한 바와 같이 전자유도에 의해 전력을 전달하

는 원리를 이용한 무접촉 방식의 충전기가 개발되어 호평을 받고 있다.

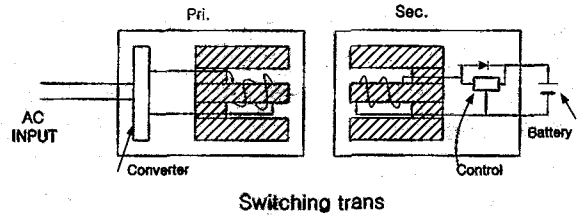


그림 11. 무접촉 방식의 충전기의 원리

한편, 사용자로부터 요구되는 사양을 입수하여 이를 근거로 설계를 실시함으로써 그 제품에 최적의 전원환경을 갖도록 하는 기술적 경향이 나타나고 있으며, 커스텀(Custom)화한 제품을 그대로 사용하지는 않으나 대부분의 요소 기술은 공용하고 있는 추세라 할 수 있다.

제조회사에서도 개발비용과 투자비용을 저감하고 개발자원을 유용하게 활용할수 있는 장점이 있으며, 제조 업체를 상호 연계하여 전원 관련 기술을 특화 함으로써 제품에 대한 법적 규제와 동향과 장래의 기술적 동향에 대한 정보를 공유할 수 있을 뿐만 아니라 개발 효과를 극대화할 수 있다.

전원 장치의 기능을 모듈(Module)화 하는 경우 전원과 본체를 하나의 기판에 구성하여 비용 절감을 기하거나 다 출력의 전원을 커스텀화하여 설계함으로써 초기의 비용과 개발 기간을 단축할 수 있는 장점이 있으므로 모듈화 경향은 향후에도 계속 다양하게 진행될 것으로 예상할 수 있다.

결론

최근 인터넷의 사용증가를 비롯하여 윈도우 95를 탑재한 개인용 컴퓨터, 32 비트 게임기와 휴대 전화 등의 폭발적 수요 증가와 PHS, DVC 등의 새로운 개념의 상품이 다양하게 출현하고 있다.

또한 위성통신을 이용한 세계 공용 휴대전화기, 전기자동차, DVD 등의 새로운 상품의 개발 등으로 21세기를 목전에 두고 기술적 대변혁이 이루어지고 있으며, 국제적으로는 미국을 중심으로한 CPU 산업과 소프트웨어의 발전뿐만 아니라 아시아 각국의 선진기술 분야의 진출 등 지금이 바로 기술적인 무한 경쟁의 시대라 할 수 있다.

이러한 사회적, 기술적 환경 변화에 따라 각종 산업 분야에서 전원장치에 대한 요구 사양은 서로 다르지만, 관련 산업 분야의 기술 발전에 확고한 근거를 두고 전원제품의 개발을 진행해야 할 필요가 있으며, 경제적인 모델의 개발과 제품의 신뢰성과 함께 기능의 다양성을 갖는 보다 차별화된 제품의 개발에 대한 요구가 증대되고 있다.

전원장치와 관련된 기술적 측면으로는, 반도체 스위치 소자의 고속화가 진행되어 고주파 스위칭에 의한 대용량 컨버터의 개발이 가능하게 되었다. 소형 전자기기를 대상으



로 개발된 저손실의 소프트 스위칭 방식에 의한 고주파화 기술이 최근에는 수십 [KW] 이상의 대형 전자기기에도 적용되는 경향이 나타나고 있다. 또한, 서지 전압과 전류를 억제하기 위한 공진형 컨버터와 인덕턴스를 이용한 인덕터 전류 등의 방법이 이용되고 있으며, 전류 서지의 억제를 위하여 아몰퍼스 자성체를 이용한 자기스너버 회로의 실용화와 더불어 저손실의 새로운 재료의 개발이 활발히 진행되고 있다.

이상의 내용은 스위칭 전원을 중심으로 에너지와 전자기술의 관점에서 예측가능한 미래의 기술에 대해서 서술하였다. 에너지 원과 전력계통의 고주파 왜곡 및 새로운 에너지의 이용 등 모든 것이 미래의 중요한 연구과제라 할 수 있으며 문제 해결을 위해서는 시스템으로부터 재료의 개발에 이르기까지 광범위한 분야의 학문적인 상호발전이 이루어져야 한다.

참고문헌

- [1] Abraham I. Pressman, "Switching Power Supply Design", McGraw-Hill, 1991
- [2] Philip T. Kein, "Elements of Power Electronics", Oxford, 1998
- [3] Muhammand H. Rashid "Power Electronics", Prentice-Hall International Inc.(2nd E), 1994
- [4] Marty Brown, "Practical Switching Power Supply Design", ACADEMIC PRESS, INC, 1990
- [5] Robert W. Erickson, "DC-DC Power Converters", University of Colorado, 1998
- [6] H.W.Ott, "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", John Wiley and Sons, 1976

- [7] K. Sanada, K. Katsu and N. Watanabe, Intelec 82, pp 224-230, 1982
- [8] Keith Billings, "Switchmode Power Supply Handbook" (2nd E), McGraw-Hill, 1999
- [9] 김철진 외, "전력전자공학", 회중당, 1998
- [10] JMA, "95 스위칭 전원 시posium 論文集", 1995.4
- [11] 八木 外, 電氣學會 マグネティックス 研究會, MAG95, 158, 1995
- [12] 岡村 外, 信學技報, PE 95-46, 1996
- [13] NEC 技報, リチウムイオン次電池, Vol 45, No.1, 1995
- [14] 日本電子工業會, スイッチン電源の現状と動向('95), 平成 7 年3月
- [15] 日本能率協會, 96スイッチン電源シンポジウム, 1996
- [16] 原田耕介, スイッチン電源ハンドブック, 日刊工業 新聞社, 1993

저 자 소 개



김철진 (金澈珍)
 1958년 5월 10일생. 1980년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1991년-1995년 생산기술연구원, KETI 제어기기 연구실장. 현재 한라대 전기공학부 부교수.